动 物 学 研 究 2001, Jun. 22 (3): 253~256 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

简报

扬子鳄卵不同部位中的 Cu、Zn、Cd 和 Pb 重金属元素分布

丁由中[1] 王小明[1,*] 何利军[1] 汪仁平[2] 谢万树[2] 邵 民[2] John THORBJARNARSON[3]

([1]华东师范大学生物学系 上海 200062) ([2]安徽扬子鳄繁殖研究中心 宣州 242000)
([3]国际野生生物保护协会 美国纽约 10460)

关键词：原子吸收分光光度法；扬子鳄；未受精卵；重金属元素
中图分类号：Q959.6+4 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2001)03-0253-04

扬子鳄 *Alligator sinensis* 属于爬行纲鳄目鼍科，它是我国特有的珍稀物种。近几十年，由于其栖息地片段化、岛屿化，加之农药污染等人类生产活动的影响，使得野生扬子鳄种群数量明显下降(Thorbjarnarson & Wang, 1999)。王小明等(1999)的调查结果表明，野生扬子鳄数目不足200条，处境十分危险。深入研究野生扬子鳄种群的致危因素及其机制，是避免野生扬子鳄遭受灭绝的关键。有关扬子鳄的繁殖(顾文仪和张海生，1983；陈壁辉和王朝林，1984；汪国宏等，2000)，栖息地类型(渡部摩娜等，1982；黄祝坚等，1985)，种群动态(李成元等，1996；朱洪星，1997；He *et al*., 2000)等都有报道，然而4种重金属元素铜(Cu)、锌(Zn)、镉(Cd)和铅(Pb)在扬子鳄卵不同部位的分布情况国内外尚未见报道。作者采用原子吸收分光光度法(AAS法)，测定了Cu、Zn、Cd和Pb在人工及野生扬子鳄未受精卵的卵壳、卵膜、卵清和卵黄中的含量，并进行了初步分析，旨在提供4种重金属元素与扬子鳄生长繁殖之间联系的基本资料。现将研究结果报道如下。

1 材料和方法

鉴于野生扬子鳄卵非常稀少以及保护扬子鳄的原因，实验用野生和人工扬子鳄完整未受精卵各1枚、不完整未受精卵（只有卵壳、卵膜）各1枚。它们分别取自安徽宣城扬子鳄繁殖研究中心和安徽宣城泾县双坑野外保护点。取人工卵和野生卵的卵清、卵黄各1份（10 g），卵膜各2份（0.7 g），卵壳各2份（3 g）。

1.1 主要仪器和试剂

仪器：1 500 W电炉、自制调压变压器、3500型原子吸收分光光度计（上海分析仪器厂），BRONSON超声波清洗器（必能信公司，美国）。

试剂：盐酸、硝酸及高氯酸试剂等均为优级纯，蒸馏水为二次重蒸水。

1.2 实验方法和条件

用干法灰化的方法对扬子鳄卵样品进行处理，将盛有样品的50 mL的瓷坩埚放在装有调压变压器的电炉上小心地炭化。炭化完全后将样品移入马弗炉内，在500℃下灰化20 h（放置过夜），取出坩埚冷却后加入4 mL的硝酸和高氯酸的混合液在电炉上加热消解，直到样品中无碳粒，待坩埚冷却后加入盐酸溶液制成待测溶液样品。

配制Cu、Zn、Cd和Pb的标准系列溶液，用AAS法测定各溶液的吸光度，绘制浓度-吸光度标准曲线，建立线性回归方程。用AAS法测定待测溶液样品的吸光度，测定条件见表1。根据标准曲线和回归方程计算溶液样品中Cu、Zn、Cd和Pb的浓度并求出相应的含量。

收稿日期：2000-10-08；修改稿收到日期：2001-01-15
基金项目：教育部优秀青年教师基金，上海市曙光计划基金资助（No.98SG08）；部分野外工作由国际野生生物保护协会（The Wildlife Conservation Society）资助
*通讯作者，电话：021-62232895（O），62453191（H），E-mail：wxming@public3.sta.net.cn

表1 AAS法测定Cu、Zn、Cd和Pb的实验条件
Table 1 Experimental condition of AAS

元素 (elements)	波长/nm (wave length)	灯电流/mA (light current)	狭缝/nm (width)	增益(负高压) [gain (negative feedback)]	气体流量/L·min⁻¹ (flow rate)	
					空气 (air)	乙炔 C_2H_2
Cu	324.7	2	0.2	204	6	1
Zn	213.9	2	0.2	330	6	1
Cd	228.8	2	0.2	223	6	1
Pb	283.3	2	0.2	220	6	1

2 结 果

扬子鳄未受精卵中4种重金属元素Cu、Zn、Cd和Pb含量的测定结果见表2。

由表2可知，人工和野生鳄未受精卵各部位对4种重金属元素的富集程度呈现共性。在卵清、卵黄、卵膜中4种重金属元素含量由高到低依次为Zn>Cu>Pb>Cd，而在卵壳中为Zn>Pb>Cu>Cd。在4种重金属元素中，除了不完整卵的卵壳中Pb含量比Zn高之外，Zn在卵各部位的含量均最高，Cd均最低。4种重金属元素在鳄卵各部位的含量趋向于人工卵高于野生卵。

表2 扬子鳄未受精卵中Cu、Zn、Cd和Pb的含量
Table 2 The content of Cu, Zn, Cd and Pb in the infertile egg of Chinese Alligator

测定元素 (elements)		$Cu/mg·kg^{-1}$	$Zn/mg·kg^{-1}$	$Cd/mg·kg^{-1}$	$Pb/mg·kg^{-1}$
完整的人工卵 (whole infertile egg in the artificial condition)	卵清 (albumen)	2.24	10.27	0.1003	1.171
	卵黄 (yolk)	2.54	7.08	0.095	1.024
	卵膜 (shell membrane)	20.03	45.47	0.234	3.332
	卵壳 (shell)	3.67	37.55	3.414	26.41
不完整的人工卵 (incomplete infertile egg in the artificial condition)	卵膜 (shell membrane)	19.26	63.29	0.32	2.55
	卵壳 (shell)	7.56	15.77	4.21	26.8
完整的野生卵 (whole infertile egg from the wild)	卵清 (albumen)	1.38	4.53	0.024	0.204
	卵黄 (yolk)	2.22	6.22	0.0558	0.730
	卵膜 (shell membrane)	7.88	10.70	0.1803	1.813
	卵壳 (shell)	2.21	24.45	1.846	14.69
不完整的野生卵 (incomplete infertile egg from the wild)	卵膜 (shell membrane)	14.54	48.57	0.21	1.91
	卵壳 (shell)	5.62	9.16	3.23	20.51

Zn在卵的各部位的含量由高到低依次为：人工卵的卵膜>卵壳>卵清>卵黄；野生卵的卵壳>卵膜>卵黄>卵清。Cu在卵膜中的含量比其他部位高，其含量由高到低依次为：人工卵的卵膜>卵壳>卵黄>卵清；野生卵的卵膜>卵黄>卵壳>卵清，卵黄与卵壳中的含量基本相同。Pb在卵壳中的含量比其他部位高，其含量由高到低依次为：人工卵的卵壳>卵膜>卵清>卵黄，卵清和卵黄中的含量较接近；野生卵的卵壳>卵膜>卵黄>卵清。Cd在卵壳中的含量较其他部位高，其含量由高到低依次为：人工卵的卵壳>卵膜>卵清>卵黄；野生卵的卵壳>卵膜>卵黄>卵清。

3 讨 论

动植物对重金属元素的积累视金属类型和生物种类部位而异(林汝榕和李少菁，1988；施巧琴等，1991；叶志鸿等，1992；马藏允等，1997)。重金属元素汞(Hg)在密西西鳄的不同组织器官中的含量不同(Jagoe *et al*.，1998)，而且在同一密西西鳄卵壳与卵液中的重金属元素含量也不相同(Stoneburner & Kushlan，1984)；但Stoneburner & Kushlan (1984)没有区分卵壳、卵膜、卵清、卵黄，亦未对Cu、Zn、Cd、Pb进行测定。我们的结果首次表明扬子鳄卵的卵壳、卵膜、卵清、卵黄中的Cu、Zn、Cd和Pb含量并不完全相同，卵壳中的4种重金属元素含量均大于卵清、卵黄中的含量，说明Cu、Zn、Cd和Pb在卵壳中的积累程度大于卵清和卵黄。这种现象对于扬子鳄的生理

机能，特别是对于卵的形成及胚胎发育的影响有待于进一步深入研究。

野生扬子鳄卵中 Cu、Zn、Cd 和 Pb 在卵清、卵黄、卵膜、卵壳各部位的含量趋向低于人工扬子鳄卵中的含量，其原因可能是：在自然界中，野生扬子鳄生存的环境水经常被用于灌溉农田，是不断更新的，而在人工饲养条件下，扬子鳄生活的环境水很少更新，是相对稳定的；其次，在人工饲养情况下，所提供的饲料中的重金属元素含量较高。据报道，重金属元素含量过高对密西西比鳄（*Alligator mississippiensis*）和尼尔鳄（*Crocodylus niloticus*）的生长繁殖有一定的影响（Stonehurner & Kushlan，1984；Phelps *et al*.，1986；Yanochko *et al*.，1997；Jagoe *et al*.，1998），所以人工养殖鳄鱼时，应重视饲料中重金属元素过高的问题。

淡水中的Cd、Pb、Zn和Cu含量分别低于0.1 μg/L、0.16 mg/L、0.1 mg/L 和 0.01 mg/L 时，对水生生物（如鱼类）是安全的（奚旦立等，1996）。然而本研究结果中，无论是人工繁殖还是野生扬子鳄，其卵中这 4 种重金属元素的含量均远远大于上述指标。这 4 种重金属元素的含量与扬子鳄的繁殖之间的相互关系怎样？其含量又在多大范围对扬子鳄的生存繁殖不利？均有待于继续深入研究才能清楚阐明。

参 考 文 献

Chen B H, Wang C L, 1984. Artificial reproduction of *Alligator sinensis* [J]. *Acta Herpetologica Sinica*, **3**(2): 49 – 54. [陈壁辉，王朝林，1984. 扬子鳄的人工繁殖. 两栖爬行动物学报，**3**(2): 49 ~ 54.]

Gu W Y, Zhang H S, 1983. Preliminary report on the reproductive ecology of Chinese Alligator[J]. *Acta Herpetologica Sinic*, **2**(4): 72 – 74. [顾文仪，张海生，1983. 扬子鳄繁殖生态初报. 两栖爬行动物学报，**2**(4): 72 ~ 74.]

He L J, Wang X M, Ding Y Z *et al*, 2000. The trend for population size and distribution range changes of Chinese alligator during thirty years [A]. In: Proceedings of the Fourth Asian Herpetological Conference [C]. Cengdu Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences. Chengdu, China. 78.

Huang Z J, Lin H Z, Zhang S K, 1985. An analysis of the remote sensing image of the Chinese alligator's habitat [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, **16**(1): 35 – 41. [黄祝坚，林恒章，张圣凯，1985. 扬子鳄栖息地类型的遥感图像分析. 海洋与湖沼，**16**(1): 35 ~ 41.]

Jagoe C H, Arnold-Hill B, Yanochko G M *et al*, 1998. Mercury in alligator (*Alligator mississippiensis*) in the southeastern United States[J]. *The science of the Total Environment*, **213**: 255 – 262.

Li C Y, Shao M, Zhu H X *et al*, 1996. The situation of Chinese alligator population[J]. *Chinese Biodiversity*, **4**(2): 83 – 86. [李成元，邵民，朱红星等，1996. 中国扬子鳄物种资源现状. 生物多样性，**4**(2): 83 ~ 86.]

Lin R R, Lin S Q, 1988. On the accumulation and transer of heavy metal in some zooplankters from Xiamen harbour[J]. *Journal of Xiamen University (natural science)*, **27**(1): 104 – 109. [林汝榕，李少菁，1988. 浮游动物对重金属的累积与转移. 厦门大学学报，**27**(1): 104 ~ 109.]

Ma Z Y, Liu H, Yao B *et al*, 1997. The studies on the bioaccumulation of Cd, Cu, Zn in some macrobenthos [J]. *China Environmental Science*, **17**(2): 151 – 155. [马藏允，刘　海，姚　波等，1997. 几种大型底栖生物对 Cd、Cu、Zn 的积累实验研究. 中国环境科学，**17**(2): 151 ~ 155.]

Phelps R J, Focardi S, Fossi C *et al*, 1986. Chlorinated hydrocarbons and heavy metals in crocodile eggs from Zimbabwe [J]. *Trans. Zimbabwe Scient. Ass*, **63**(2): 8 – 15.

Shi Q Q, Lin L, Cheng Z C *et al*, 1991. Studies on the accumulation of heavy metals and their effect on the growth and metabolism in edible fungi [J]. *Acta Mycologica Sinica*, **10**(4): 301 – 311. [施巧琴，林琳，陈哲超等，1991. 重金属在食用菌中的富集及对其生长代谢的影响. 真菌学报，**10**(4): 301 ~ 311.]

Stonehurner D L, Kushlan J A, 1984. Heavy metal burdens in American Crocodile eggs from Florida Bay, Florida, USA [J]. *Journal of Herpetology*, **18**(2): 192 – 193.

Thorbjarnarson J, Wang X M, 1999. The conservation status of the Chinese alligator[J]. *Oryx*, **33**(2): 152 – 159.

Wang G H, He L J, Shao M, 2000. Research on the relation of the Chinese alligator egg hatching and the factor of environment [J]. *Sichuan Journal of Zoology*, **19**(2): 82 – 83. [汪国宏，何利军，邵　民，2000. 泾县野生扬子鳄卵孵化与环境关系初探. 四川动物，**19**(2): 82 ~ 83.]

Wang X M, He L J, Ding Y Z, 1999. SOS, wild Chinese alligator [N]. *Beijing Youth*, 22nd October: 24. [王小明，何利军，丁由中，1999. 野生扬子鳄告急了. 北京青年报（动物与人），10 月 22 日: 24 版.]

Watanabe M, Wang K, Huang Z J, 1982. Research on the habitat of Chinese alligator through the technology of satellite remote sensing [J]. *Ziran Zazhi (Natural Journal)*, **5**(11): 852 – 854. [渡部摩娜，王柯，黄祝坚，1982. 应用卫星遥感技术对扬子鳄栖息地初步研究. 自然杂志，**5**(11): 852 ~ 854.]

Xi D L, Sun Y S, Liu X Y *et al*, 1996. Environment Monitor [M]. Second edition Beijing: Higher Education Press. 49 – 61. [奚旦立，孙裕生，刘秀英等，1996. 环境监测. 第 2 版. 北京：高等教育出版社. 49 ~ 61.]

Yanochko G M, Jagoe C H, Brisbin Jr I L, 1997. Tissue mercury concentration in Alligators (*Alligator mississippiensis*) from the Florida Everglades and the Savannah River Site, South Carolina [J]. *Arch Environ Contam. Toxicol*, **32**: 323 – 328.

Ye Z H, Chen G Z, Lan C Y *et al*, 1992. The accumulation and distribution of heavy metal in *Typha latifolia* from the Pb/Zn mine waste water [J]. *Acta Phytoecologica Et Geobotanica Sinica*, **16**(1): 72 – 79. [叶志鸿，陈桂珠，蓝崇钰等，1992. 铅锌矿废水中重金属在宽叶香蒲（*Typha latifolia*）的积累与分布. 植物生态学与地植物学学报，**16**(1): 72 ~ 79.]

Zhu H X, 1997. Observation on a wild population of Chinese alligator [J]. *Sicuan Journal of Zoology*, **16**(1): 40 – 41. [朱红星，1997. 野生扬子鳄种群的观察. 四川动物，**16**(1): 40 ~ 41.]

A Primelinary Study on Heavy Metal Elements (Cu, Zn, Cd and Pb) in Different Parts of the Eggs of Chinese Alligator (*Alligator sinensis*)

DING You-Zhong[1] WANG Xiao-Ming[1] HE Li-Jun[1] WANG Ren-Ping[2]
XIE Wan-Shu[2] SHAO Min[2] John THORBJARNARSON[3]

([1] *The Department of Biology, East China Normal University, Shanghai 200062, China*)
([2] *Anhui Research Central for Chinese Alligator Reproduction, Xuanzhou 242000, China*)
([3] *The Wildlife Conservation Society, New York 10460, USA*)

Abstract: With two whole infertile eggs and two incomplete infertile eggs (having shell membrane and shell) of Chinese Alligator (*Alligator sinensis*) from the artificial condition and the field in Anhui Province, the authors studied the concentration of four heavy metal elements (Cu, Zn, Cd and Pb) in the different parts (albumen, yolk, shell membrane and shell) with Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Our results showed that these four elements' concentration was quite different in the different parts of the same egg. The concentration of these four elements from high to low is Zn, Cu, Pb, Cd in the albumen, yolk and shell membrane of the infertile egg. However the sequence is Zn, Pb, Cu, Cd in the shell of the infertile egg. The concentration of Zn (the highest is 63.29 mg/kg) is higher than the other three elements in the same egg. The concentration of Cu (the highest is 20.03 mg/kg) is higher in the shell membrane than the others parts of the same egg. The concentration of Pb (the highest is 26.8 mg/kg) is higher in the shell than the other parts of the same egg. The concentration of Cd (the minimum is 0.024 mg/kg) is much lower than the other three elements in the albumen, yolk and shell membrane of the same egg. In addition, our results also showed that the concentration of these four elements tended higher in the infertile egg from the artificial condition than that from the field. The results should be considered by Chinese Alligator Breeding Center.

Key words: AAS; *Alligator sinensis*; Infertile egg; Heavy metal elements

蛇毒系列药品的研究及开发产业化列为国家高技术产业化项目

动物毒素是一类高活性、生理功能特异的物质，动物毒素产品可用于防治多种疑难病症，使之成为当今生命科学研究的热点。中国科学院昆明动物研究所充分利用云南丰富的动物毒素自然资源，经过多年努力，完成了多种有毒动物伤害防治和蛇毒系列药品的研究和开发，获得了多个系列药品的新药证书和生产批文。经国家计委2000年11月1日批复，将"云南中科云龙药业股份有限公司蛇毒系列药品的研究及开发产业化"列为国家高技术产业化示范工程技术项目。

由中国科学院昆明动物研究所、上海联台投资有限公司、厦门信达股份有限公司、中国科学院昆明分院、上海中科合臣股份有限公司、丽珠集团上海丽珠制药有限公司以及昆明动物研究所熊郁良研究员等科研人员发起筹建的"云南中科云龙药业股份有限公司"，借助国家实施"西部大开发"、云南省和上海市实施"滇沪合作"、中科院实施"知识创新工程"的良好机遇，以开发和利用云南独有而丰富的天然资源，将资源优势转化为产业和经济优势为目标，继续开展有毒动物伤害防治和蛇毒系列药品的研发工作。蛇毒系列药品的研究及开发产业化，就是实现这一目标的具体化。这一项目的实施，将药品研发、药物生产和资本运作等方面具有较强实力和丰富经验的我国东部地区知名企业、高级专业人才和资本引入云南，必将加速云南省毒素系列药品的研究和开发工作，使之成为毒素系列药品的规模化生产基地，进而推动云南省生物资源高新技术产业的发展，为云南的经济发展作出贡献。

王桂兰
（中国科学院昆明动物研究所 650223）